



لیگ
پژوهشی
مکانیک و فوتونیک

بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و هفتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۲۳ تا ۲۵ دی ماه ۱۳۹۳، دانشگاه شهید بهشتی



مطالعه جذب نور در سلول خورشیدی رنگدانه ای

نفیسه شریفی

پژوهشکده علوم و فناوری نانو - دانشگاه کاشان - کاشان ۱۴۵۸۸ - ایران - sharifi@kashanu.ac.ir

چکیده - در سلول های خورشیدی رنگدانه ای، به طور متدال، لایه ای متشکل از ذرات ۳۰۰ نانومتری تیتانیم دی اکسید به عنوان لایه پس پراکننده نور به کار گرفته می شود تا میزان جمع آوری نور را افزایش دهد. در این تحقیق، لایه بازتاب کننده نقره انتخاب شد تا جذب نور در بخش های مختلف سلول در غیاب و حضور این لایه بازتاب کننده بررسی شود. محاسبات نوری نشان می دهد که با اصلاح سلول با لایه بازتاب کننده نقره، میزان جذب نور در بخش های مختلف سلول مانند شیشه شفاف و رسانا، الکتروولیت، پلاتین و به خصوص سلول با لایه بازتاب کننده نقره، میزان جذب نور در بخش های مختلف سلول مانند شیشه شفاف و رسانا، الکتروولیت، پلاتین و به خصوص بازدهی می شود.

کلید واژه- جذب نور، سلول خورشیدی رنگدانه ای، لایه بازتاب کننده نقره.

Study of Optical Absorption in Dye-sensitized Solar Cells

Nafiseh Sharifi, Assistant Professor

Institute of Nanoscience and Nanotechnology, University of Kashan, Kashan 14588, Iran

Abstract- Conventionally, a film of TiO_2 particles of ~300 nm size is employed in dye-sensitized solar cells as the back reflector film to enhance the light harvesting. In this study, silver reflector film was used to investigate the light absorption in different parts of cells. Optical calculations demonstrate that the light absorption is increased in transparent conductive oxide glass, electrolyte, Platinum, and especially in sensitized TiO_2 layer when silver reflector film was used. This causes a 26% enhancement in photocurrent.

Keywords: Dye-sensitized Solar Cells, Light Absorption, Silver Reflector Film

۱- مقدمه

به سمت لایه فعال هدایت کند [۳]. با ساخت بخش‌های مختلف یک سلول خورشیدی رنگدانه و اندازه گیری ویژگی‌های نوری اجزای مختلف، میزان جذب در قسمت‌های مختلف بررسی و محاسبه شده است و اثر نوری این بازتاب کننده که بازتاب ۱۰۰٪ دارد، بر افزایش میزان جذب در بخش‌های مختلف سلول به خصوص لایه فعال مطالعه شده است.

۲- روش آزمایش

الکتروود نوری شامل نانوذره‌های ۲۵ نانومتری تیتانیم دی-اکسید با استفاده از روش دکتر بلید روی شیشه رسانا ساخته شد. قبل و بعد از قرار گرفتن این لایه میکرومتری تیتانیم دی-اکسید روی زیرلایه‌ی شیشه‌ای، با هیدرولیز محلول تتراتکلرید تیتانیم در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد و به مدت ۳۰ دقیقه، پوشش نازکی از تیتانیم دی-اکسید به ترتیب روی شیشه و روی لایه‌ی تیتانیم دی-اکسید قرار گرفت تا میزان بازترکیب الکترون تزریق شده با الکتروولیت را روی شیشه شفاف و رسانا که می‌تواند در تماس با الکتروولیت باشد و فرآیند نامطلوبی است، کاهش دهد. فوتوآند ساخته شده با حرارت دهی در دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۳۰ دقیقه کریستالی و در یکدیگر سینتر شوند. با پخش کردن ۱۰ میکرولیتر محلول ۳ میلی‌مolar H_2PtCl_6 روی شیشه‌ی رسانا و حرارت دهی آن در دمای $400^{\circ}C$ ، الکتروود مقابله ساخته شد. بعد از جذب شیمیایی رنگدانه‌ی Z907 الکتروود نوری و الکتروود مقابله به کمک پلاستیکی حرارتی به یکدیگر متصل شدند و فضای میان دو الکتروود و تخلخل‌های داخل لایه‌ی فعال تیتانیم دی-اکسید با الکتروولیت مبتنی بر کبات، Z1147 پر شد. لایه نازکی از نقره نیز به روش تبخیر حرارتی با بازتاب ۱۰۰٪ ساخته شد و در بخش خارجی سلول خورشیدی و در کنار کاتد قرار گرفت.

۳- نتایج و بحث

بازتاب پخشی لایه بازتاب کننده نقره نشان داد که در محدوده ۳۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر دارای بازتاب ۱۰۰٪ است. منحنی فوتولوئتی و مشخصه‌های فوتولوئتی سلول‌های خورشیدی در غیاب و حضور لایه بازتاب کننده نقره به ترتیب در شکل ۱ الف و جدول ۱ نمایش داده شده است. حضور لایه‌ی مسطح نقره سبب می‌شود تا نور جذب

سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای به دلیل باصرفه بودن از نظر اقتصادی، جایگزین مناسبی برای سلول‌های خورشیدی سیلیکونی محسوب می‌شوند [۱]. سلول خورشیدی رنگدانه‌ای متشکل از فوتواند و الکتروود مقابله (کاتد) است که فوتواند مجموعه شیشه‌ی رسانا پوشش داده شده با لایه‌ی تیتانیم دی-اکسید و رنگدانه جذب شده بر روی سطح تیتانیم دی-اکسید است. الکتروود مقابله نیز عموماً شیشه رسانا پوشش داده شده با نانوذره‌های پلاتین است. رنگدانه وظیفه حساس کردن لایه‌ی متخلخل تیتانیم دی-اکسید نسبت به نور خورشید را دارد تا با جذب نور خورشید، برانگیخته شود و الکترون رنگدانه به تیتانیم دی-اکسید منتقل شود. این الکترون بعد از گذر از تیتانیم دی-اکسید به زیر لایه‌ی شفاف و رسانا منتقل می‌شود. فضای میان دو الکتروود و تخلخل‌های لایه‌ی تیتانیم دی-اکسید عموماً با الکتروولیتی که حاوی گونه‌های اکسایشی-کاهشی است، پر می‌شود که الکترون منتقل شده از طریق مدار خارجی را به مولکول برانگیخته شده منتقل می‌کند تا به حالت اولیه خود بازگردد.

تحقیقات گسترده‌ای به منظور بهبود کارکرد و افزایش بازده سلول‌های خورشیدی رنگدانه ای در حال انجام است. یک از رهیافت‌ها، مدیریت نور است که به معنای استفاده از روش‌هایی است که با آن بتوان مسیر نور در داخل سلول‌های خورشیدی را به گونه‌ای کنترل کرد تا با در نظر داشتن تمام محدودیت‌های طراحی سلول؛ تعداد فوتون‌های جذب شده افزایش یابد. به طور متدائل، لایه‌ای متشکل از ذرات ۳۰۰ نانومتری تیتانیم دی-اکسید به عنوان لایه بازتاب کننده و پس پراکننده نور به کار گرفته می‌شود که با جلوگیری از خروج نور از سمت الکتروود مقابله و در نتیجه به تله انداختن نور در لایه‌ی حساس شده به رنگدانه (لایه فعال)، میزان جمع آوری نور در این نوع سلول افزایش می‌یابد [۲].

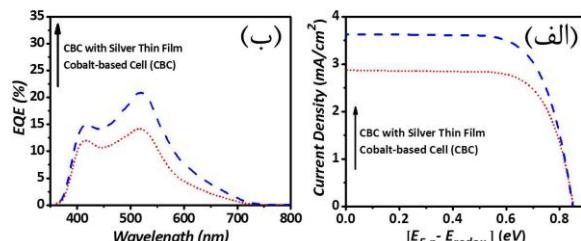
در این مقاله، لایه‌ی فلزی مانند نقره به عنوان بازتاب-کننده کامل به جای لایه‌های پس پراکننده متدائل استفاده شده است که در بیرون سلول و در کنار الکتروود مقابله قرار گرفته است تا نوری را که به وسیله سلول جذب نشده است و نور تلف شده محسوب می‌شود دوباره

جدول ۱: مشخصه‌های فتوولتایی سلول خورشیدی مرجع (بدون لایه بازتاب کننده) و سلول‌های خورشیدی اصلاح شده با لایه بازتاب کننده نقره.

لایه‌ی مسطح نقره	مرجع	مشخصه‌های فتوولتایی
۳/۶۲	۲/۸۷	$J_{sc}(\text{mA/cm}^2)$
۸۵۰	۸۵۳	$V_{oc}(\text{mV})$
۰/۷۱	۰/۷۲	FF
٪۲/۱۸	٪۱/۷۵	η

به منظور محاسبه درصد فوتون فرودی که در هر طول-موج به وسیله شیشه شفاف و رسانا (FTO)، لایه‌ی تیتانیم، $\text{TiO}_2\text{-dye}$ دیاکسید حساس شده به رنگدانه ($\text{TiO}_2\text{-dye}$)، الکترولیت و پلاتین جذب می‌شود، با استفاده از طیف-спектrometerی و انتخاب مرجع مناسب، کمیت‌هایی مانند عبور پوشش‌های رسانا با دو نوع مختلف (T_{TEC7} و T_{NSG} ، $T_{\text{Electrolyte}}$ ، تیتانیم دیاکسید حساس شده به رنگدانه ($T_{\text{TiO}_2\text{-Dye}}$) و پلاتین (T_{Pt})، و بازتاب شیشه (R_{glass}) و لایه‌ی بازتاب کننده (R_{RL}) در محدوده ۳۵۰ تا ۸۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شدند. برای محاسبه این کمیت، از آن جایی که ضریب شکست تمام مواد داخل سلول تقریباً یکسان‌اند، بازتاب‌های چندگانه روی نمی‌دهد و از این اثر صرف‌نظر شده است. محاسبات بر اساس ساختاری است که نور از سمت فتوآند به سلول وارد می‌شود و بخشی از نور به ترتیب در FTO، لایه‌ی تیتانیم دیاکسید حساس شده به رنگدانه، الکترولیت، پلاتین و FTO جذب می‌شود و سپس نور برگشت داده شده به وسیله لایه‌های پراکننده مختلف، به وسیله FTO، پلاتین، الکترولیت، لایه‌ی تیتانیم دیاکسید حساس شده به رنگدانه و FTO جذب می‌شود (شکل ۲).

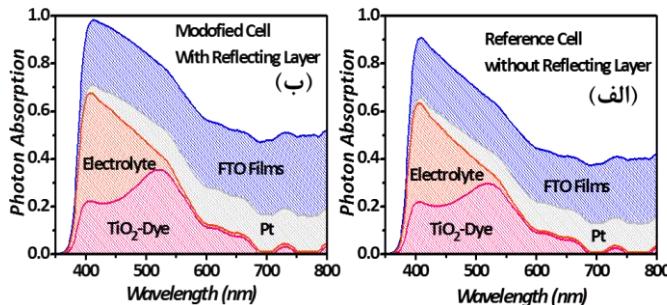
نشده به وسیله‌ی رنگدانه به داخل سلول بازگردد تا برگشت به داخل لایه‌ی حساس شده به رنگدانه و جذب به وسیله رنگدانه، جریان الکتریکی افزایش یابد.



شکل ۱: (الف) منحنی چگالی جریان – ولتاژ و (ب) بازده کوانتمی خارجی سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای. (نقطه چین) سلول خورشیدی رنگدانه‌ای مرجع بدون به کارگیری لایه‌ی بازتاب کننده نور و (خط چین) سلول خورشیدی اصلاح شده با لایه‌ی بازتاب کننده مسطح نقره.

بازده کوانتمی خارجی سلول‌های خورشیدی بر حسب طول‌موج در شکل ۱ ب نمایش داده شده است که اثر برگشت نور به وسیله‌ی لایه‌ی بازتاب کننده به داخل لایه‌ی فعال و در نتیجه، اثر آن بر افزایش جریان الکتریکی سلول‌های خورشیدی را نشان می‌دهد. بیشینه بازده کوانتمی حدود ۵۲۰ نانومتر مشاهده می‌شود که منطبق بر قله‌ی جذب رنگدانه Z907 است. افزایش بازده کوانتمی تنها محدود به این طول‌موج نمی‌شود و در محدوده‌ی طول موجی که رنگدانه جذب دارد، افزایش در بازده کوانتمی مشاهده می‌شود. مقدار افزایش بازده کوانتمی در طول موج ۵۲۰ نانومتر نسبت با استفاده از لایه مسطح نقره برابر با ۲۷٪ است و این افزایش در طول موج ۶۵۰ نانومتر برابر با ۴۱٪ است که نشان می‌دهد لایه‌ی بازتاب کننده در طول‌موج‌های بلندتر که رنگدانه جذب کمتری دارد، به طور کارآمدتر نور فرودی را به جریان الکتریکی تبدیل می‌کند.

بازدهی سلول مشاهده می شود (شکل ۱ و جدول ۱).



شکل ۳: جذب فوتون در سلول (الف) بدون حضور و (ب) در حضور لایه بارتاب کننده نقره که نشان می دهد در هر طول موج چه درصدی از فوتون فروندی به وسیله شیشه FTO یا لایه تیتانیم دی اکسید حساس شده به رنگدانه یا الکتروولیت و یا پلاتین جذب می شود.

۴- نتیجه‌گیری

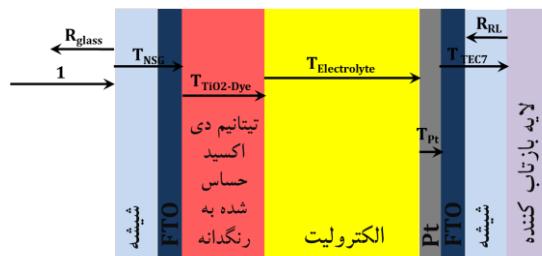
در این تحقیق به منظور استفاده از نور جذب نشده به وسیله لایه فعال سلول خورشیدی (نور تلف شده) و بازگشت آن به داخل سلول، از لایه بارتاب کننده نقره استفاده شد. با استفاده از اندازه‌گیری خصوصیات نوری اجزای مختلف سلول و محاسبات نوری، میزان نور جذب شده در بخش‌های مختلف سلول محاسبه شد که نشان می دهد میزان جذب نور به خصوص در لایه تیتانیم دی- اکسید حساس شده به رنگدانه افزایش می‌باید که با افزایش ۲۶ درصدی در جریان الکتریکی سلول، کارکرد سلول را بهبود بارده می‌بخشد.

سپاسگزاری

نویسنده مقاله وظیفه خود می‌داند که از آقای دکتر نیما تقوی نیا به خاطر فراهم آوردن امکانات و تجهیزات آزمایشگاهی و همفکری و تبادل اطلاعات تشکر کند.

مراجع

- [1] O'Regan B. and Graetzel M., A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films, *Nature*, 353 (1991) 737–740.
- [2] Ito S., Murakami T., Comte P., and Liska, P. Fabrication of thin film dye sensitized solar cells with solar to electric power conversion efficiency over 10%, *Thin Solid Films*, 516 (2008) 4613–4619.
- [3] Sharifi N., Dadgostar S., Taghavinia N., Irajizad A., Freestanding Light Scattering Hollow Silver Spheres Prepared by a Facile Sacrificial Templating Method and Their Application in Dye-sensitized Solar Cells, *J. Power Sources*, 225 (2013) 46–50.



شکل ۲: نمایش عبور و بازتاب بخش‌های مختلف سلول خورشیدی برای محاسبه درصد فوتون فروندی که در هر طول موج به وسیله شیشه شفاف و رسانا (FTO)، لایه تیتانیم دی اکسید حساس شده به رنگدانه (TiO₂-dye)، الکتروولیت و پلاتین جذب می شود.

تحلیل کمی جذب فوتون فروندی به وسیله اجزای مختلف سلول خورشیدی در غیاب و حضور لایه‌ی بارتاب کننده در شکل ۳ نمایش داده شده است که نشان می‌دهد در هر طول موج، چه درصدی از فوتون فروندی به وسیله شیشه شفاف و رسانا (FTO)، الکتروولیت و اکسید حساس شده به رنگدانه (TiO₂-dye)، لایه تیتانیم دی- اکسید حساس شده به رنگدانه باقیمانده که هاشور ندارند، نمایش نور جذب نشده به وسیله اجزای مختلف سلول خورشیدی است. روند جذب فوتون به وسیله لایه تیتانیم دی اکسید حساس شده به رنگدانه مشابه منحنی‌های بازده کوانتمومی خارجی است با این تفاوت که مقادیر بیشتری را نشان می‌دهند. این تفاوت به این دلیل است که تمامی نور جذب شده در تولید جریان الکتریکی سهیم نیستند که می‌تواند ناشی از کاستی در بازده جمع‌آوری الکترون در الکتروود نوری باشد (بازده جمع‌آوری الکترون، کمتر از واحد است). با توجه به این نکته در سلول اصلاح شده نور فروندی دو مرتبه از میان سلول می‌گذرد، مشاهده می‌شود که بخش بزرگی از نور، با جذب به وسیله الکتروولیت، تلف می‌شود. به ویژه در بازه‌ی ۴۰۰–۵۰۰ نانومتر که رنگدانه جذب قابل ملاحظه‌ای دارد، حدود ۳۰٪ نور جذب و تلف می‌شود. میزان اتلاف نور در پلاتین در تمامی گستره‌ی طول موجی به جز طول موج‌های کوتاه که جذب به وسیله الکتروولیت غالب است، حدود ۱۵٪ است. شیشه رسانای شفاف نیز حدود ۲۰٪ نور را در گستره‌ی طول موجی نمایش داده شده؛ جذب و تلف می‌کند. استفاده از لایه بارتاب کننده سبب می‌شود که به خصوص مقدار جذب در لایه حساس شده به رنگدانه که قلب سلول خورشیدی رنگدانه است؛ افزایش می‌باید که اثر آن به صورت افزایش در جریان الکتریکی و در نهایت